ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE

ANNÉE 1982 N° 89

L'INTOLÉRANCE AU LACTOSE ET LES PRODUITS LAITIERS DELACTOSES

THÈSE

POUR LE DOCTORAT VÉTÉRINAIRE
DIPLOME D'ÉTAT

présentée et soutenue publiquement en 1982
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse
par

Francis BROUTIN
Né le 2 Août 1954 à ROUBAIX (Nord)

Jury :

Président : M. ROUX
Professeur à la Faculté de Médecine de Toulouse

Assesseurs :
M. LABIE
Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse
M. DARRÉ
Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE

ANNÉE [illegible] N° [illegible]

L'INTOLÉRANCE AU LACTOSE ET LES PRODUITS LAITIERS DELACTOSÉS

THÈSE

POUR LE DOCTORAT VÉTÉRINAIRE
DIPLÔME D'ÉTAT

présentée et soutenue publiquement en [illegible]
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse

par

Francis BROUTIN
Né le 2 Août 1954 à ROUBAIX (Nord)

Jury :

Président : M. ROUX
Professeur à la Faculté de Médecine de Toulouse

Assesseurs :
M. LABIE
Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse
M. DARRE
Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE

ANNÉE 1982 N° 89

L'INTOLÉRANCE AU LACTOSE ET LES PRODUITS LAITIERS DELACTOSES

THÈSE

POUR LE DOCTORAT VÉTÉRINAIRE
DIPLOME D'ÉTAT

présentée et soutenue publiquement en 1982
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse
par

Francis BROUTIN
Né le 2 Août 1954 à ROUBAIX (Nord)

Jury :

Président : M. ROUX
Professeur à la Faculté de Médecine de Toulouse

Assesseurs :
M. LABIE
Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse
M. DARRÉ
Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

Directeur .... M. LAUTIE

Directeur honoraire .... M. FLORIO

Professeurs honoraires .... MM. BRIZARD
SAURAT
GODFRAIN

PERSONNEL ENSEIGNANT

CHAIRE DE PHARMACIE ET TOXICOLOGIE

Professeur titulaire .... Mme BURGAT-SACAZE
Maître-Assistant .... M. PETIT

Pharmacie et Toxicologie

CHAIRE DE PHYSIQUE ET CHIMIE BIOLOGIQUES ET MEDICALES

Professeur titulaire .... MM. RICO
Professeur sans chaire .... BRAUN
Maître-Assistant .... BENARD

Physique biologique et médicale
Chimie biologique et médicale
Informatique biologique et médicale

CHAIRE D'ANATOMIE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

Professeur titulaire .... MM. PAVAUX
Maître-Assistant .... LIGNEREUX
Maître-Assistant .... SAUTET

Organogénèse - Tératologie
Anatomie Générale - Anatomie appliquée

CHAIRE DE PHYSIOLOGIE, PHARMACODYNAMIE ET THERAPEUTIQUE

Professeur titulaire .... MM. RUCKEBUSCH
Professeur sans chaire .... FARGEAS
Maître-Assistant Agrégé .... TOUTAIN

Physiologie - Pharmacodynamie -
Thérapeutique

.../

CHAIRE D'HISTOLOGIE - ANATOMIE PATHOLOGIQUE

Professeur titulaire	MM.	VAN HAVERBEKE
Professeur sans chaire		CABANIE
Maître Assistant Agrégé		MAGNOL

Histologie - Embryologie
Anatomie Pathologique - Clinique

CHAIRE D'HYGIENE ET INDUSTRIE DES ALIMENTS D'ORIGINE ANIMALE

Professeur titulaire	MM.	LABIE
Maître de Conférences		EECKHOUTTE
Maître Assistant Agrégé	Mme	BENARD

Hygiène, Inspection, Contrôle et
Technologie des denrées alimentaires
d'origine animale - Clinique

CHAIRE DE PARASITOLOGIE ET MALADIES PARASITAIRES

Professeur titulaire	MM.	DORCHIES
Maître de Conférences		FRANC
Maître Assistant		DUCOS DE LAHITTE

Zoologie appliquée - Ecologie -
Parasitologie externe - Dermatologie
Parasitologie interne - Clinique

CHAIRE DE SEMIOLOGIE ET PATHOLOGIE MEDICALE DES EQUIDES ET CARNIVORES ET DE LEGISLATION

Professeur titulaire	MM.	LESCURE
Maître de Conférences		GUELFI
Maître Assistant		REGNIER

Sémiologie et Pathologie Médicale des
Equidés et Carnivores
Législation Vétérinaire et Déontologie
Clinique

CHAIRE DE PATHOLOGIE MEDICALE DU BETAIL ET DES ANIMAUX DE BASSE-COUR

Professeur titulaire	MM.	TOURNUT
Maître de Conférences		BEZILLE
Maître Assistant		JOUGLAR

Sémiologie et Pathologie Médicale
du Bétail et des animaux de basse-cour
Clinique - Consultation itinérante

.../

CHAIRE DE PATHOLOGIE CHIRURGICALE

Professeur titulaire	MM.	CAZIEUX
Maître de Conférences		GENEVOIS
Maître Assistant		AUTEFAGE
Maître Assistant		FAYOLLE

Propédeutique et Sémiologie chirurgicale
Radiologie - Technique chirurgicale -
Anesthésiologie - Pathologie Chirurgicale
Traumatologie - Podologie orthopédique -
Clinique

CHAIRE DE PATHOLOGIE DE LA REPRODUCTION

Professeur titulaire	MM.	FERNEY
Professeur sans chaire		ROYAL

Pathologie de l'appareil génital et de la
mamelle - Sémiologie et propédeutique -
Pathologie de la Reproduction -
Obstétrique et pathologie du nouveau-né
Clinique - Consultation itinérante

CHAIRE DE MALADIES CONTAGIEUSES - ZOONOSES -
LEGISLATION SANITAIRE

Professeur titulaire	MM.	CHANTAL
Maître Assistant		PICAVET

Epidémiologie - Maladies Contagieuses
Zoonoses - Législation sanitaire -
Clinique

CHAIRE DE PATHOLOGIE GENERALE - MICROBIOLOGIE -
IMMUNOLOGIE

Professeur titulaire	MM.	LAUTIE
Maître Assistant		PELLERIN
Maître Assistant		MILON

Microbiologie - Immunologie -
Pathologie Générale

CHAIRE D'ELEVAGE ET ECONOMIE

Professeur titulaire	MM.	QUEINNEC
Professeur sans chaire		DARRE
Maître Assistant	Mme	QUEINNEC

Ethnologie - Génétique animale -
Extérieur - Zootechnie et économie générales
Ethologie appliquée, Sciences, Techniques,
Economie de l'Elevage et des Productions
animales - Insémination artificielle -
Organisation de l'Elevage

.../

CHAIRE D'ALIMENTATION

Professeur titulaire	MM. FALIU
Professeur sans chaire	GRIESS
Maître Assistant	ENJALBERT

Botanique appliquée et bromatologie
Agronomie - Alimentation

CHARGES D'ENSEIGNEMENT

MM. les Professeurs ANGELIER, ARMENGAUD, COMBES, COMBRET, CROS, FERNET et MAZENC.

La Faculté et l'Ecole déclarent n'être pas responsables des opinions émises par les candidats (délibération de la Faculté en date du 10 Mai 1891 et du Conseil de l'Ecole en date du 13 Juin 1924.

A MON PERE

A MA MERE

A MA FEMME

A MON FILS

A TOUTE MA FAMILLE

A NOTRE PRESIDENT DE THESE :

A MONSIEUR LE PROFESSEUR ROUX

Professeur à la Faculté de Médecine
de TOULOUSE

qui a bien voulu nous faire l'honneur de présider notre Jury de thèse.

Nous le prions de trouver ici l'expression de nos remerciements et de notre profond respect.

A NOTRE JURY DE THESE,

A MONSIEUR LE PROFESSEUR LABIE

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire
de TOULOUSE,

Qui a bien voulu accepter le
sujet de notre thèse et nous
conseiller dans sa réalisation.

En témoignage de notre recon-
naissance pour l'enseignement
qu'il nous a donné.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR DARRÉ

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire
de TOULOUSE,

Qui nous a fait l'honneur de
participer à notre Jury de thèse.

Hommage respectueux.

L' INTOLERANCE AU LACTOSE

ET

LES PRODUITS LAITIERS DELACTOSES

P L A N

- INTRODUCTION -

I. L'INTOLERANCE AU LACTOSE :

A) ETIOLOGIE

a. Origine génétique

b. Origine adaptative

c. Origine acquise

B) LES SYMPTOMES DE L'INTOLERANCE AU LACTOSE

C) PATHOGENIE DE L'INTOLERANCE AU LACTOSE

D) LES MOYENS DE DETERMINER LES INTOLERANTS AU LACTOSE

a. Dosage de l'activité lactasique par prélèvement biopsique

b. Dosage de l'activité lactasique par la mesure de la glycémie - galactosémie

c. Epreuve du repas baryté

d. Epreuve isotopique

e. L'expression pulmonaire d'hydrogène suivant l'ingestion de lait

f. Détection de l'intolérance au lactose à partir des selles

II. ABAISSEMENT DU TAUX DE LACTOSE DANS LES PRODUITS LAITIERS :

A) DETERMINATION DU TAUX DE LACTOSE DU LAIT ET DES PRODUITS LAITIERS

1. Méthodes colorimétriques : - méthode de BERTRAND
   - méthode de POTTERAT-ESCHMANN

2. Méthode chromatographique : chromatographie en phase gazeuse

B) MOYENS UTILISES POUR ABAISSER LE TAUX DE LACTOSE

1. Action de la lactase
2. Le réacteur enzymatique à membrane

C) LES PRODUITS LAITIERS DELACTOSES

1. Les laits fermentés

- **Les produits fermentés traditionnels**

  1. Le yoghourt
  2. Le Kefir
  3. Le Koumiss
  4. Autres laits fermentés traditionnels

- **Les produits fermentés nouveaux**

  1. Le lait à l'acidophile
  2. Le lait fermenté en masse
  3. Les laits concentrés fermentés

2. Le fromage

- coagulation ou caillage du lait
- égouttage du caillé
- affinage du caillé

3. Laits délactosés : utilisation de la lactase

- CONCLUSION -

-ooOoo-

Le lait est fondamental dans l'alimentation du nourrisson ; cependant, chez l'enfant et l'adulte, il conserve toute sa valeur nutritive. Par exemple, un demi-litre de lait de vache contient 25 % des calories, 40 % des protéines, 70 % du calcium et de la riboflavine, et un peu plus de 30 % de la vitamine A et de la thiamine qui, suivant une évaluation assez large, sont quotidiennement nécessaires à un enfant de cinq ans.

On sait de plus que la FRANCE et nombre de pays européens sont excédentaires en lait ; il convient donc de rechercher des produits nouveaux permettant d'écouler ces excédents et par là même de maintenir le travail des exploitants orientés vers la production laitière.

Cependant, d'après de nombreuses études récentes et notamment d'après celles du Docteur Alain GERARD, il semblerait que 70 à 75 % de la population mondiale serait intolérante au lactose et donc au lait.

Il s'agit donc de trouver un moyen d'éliminer le lactose des produits laitiers afin que ces consommateurs puissent bénéficier de la haute qualité nutritive du lait.

On comprend ainsi qu'un énorme débouché existe pour la production du lait et des produits laitiers délactosés. L'excédent laitier de nos pays européens (ainsi que celui de l'Amérique du Nord) pourrait ainsi remédier au déficit alimentaire des pays du Tiers-monde à partir du lait et des produits laitiers délactosés.

A ce marché énorme de consommateurs du Tiers-monde pourrait s'ajouter celui, moins important, des quelques 5,5 % d'intolérants de notre pays.

Dans cette étude, nous expliquerons ce qu'est l'intolérance au lactose, en précisant les étiologies de cette intolérance et les troubles occasionnés par cette substance chez les sujets atteints de cette particularité. Nous développerons sommairement ensuite les méthodes dont on dispose pour déceler les intolérants au lactose. La seconde partie sera consacrée aux divers produits laitiers délactosés, après avoir décrit, au préalable, les moyens employés pour calculer le taux de lactose dans les produits lactés et les méthodes dont on dispose pour diminuer la quantité de ce sucre dans les produits envisagés.

I. L'INTOLERANCE AU LACTOSE

A) ETIOLOGIE

Le lactose, pour être assimilé par l'organisme humain, doit être scindé en deux glucides simples : le galactose et le glucose. Cette réaction ne peut se faire qu'à l'aide de la lactase qui est une enzyme se trouvant dans les entérocytes de l'épithélium de revêtement de l'intestin grêle. Les états d'intolérance résultent donc d'une insuffisance ou d'une absence de production de la lactase intestinale.

a. Origine génétique :

On sait que la presque totalité des nourrissons du monde entier possèdent à la naissance une activité lactasique normale, hormis quelques cas pathologiques sur lesquels nous reviendrons plus tard. Cependant, au cours de la croissance, des différences apparaissent entre ethnies. En effet, l'activité lactasique des populations européennes se maintient à l'âge adulte, que les individus soient restés dans leur pays d'origine ou qu'ils aient émigré, même depuis plusieurs générations ; seuls 10 à 15 % d'entre-eux présenteront une intolérance due à un défaut de lactase. Par contre, dans les autres ethnies qui sont numériquement beaucoup plus importantes que la précédente, il y a un pourcentage de 70 à 90 % des individus à activité lactasique défaillante. Bien que très mal connue, cette défaillance aurait deux origines : ou bien c'est l'arrêt de consommation de lait dans l'alimentation qui entraînerait une interruption de l'activité lactasique, ou bien l'apparition de ce déficit est la traduction d'un caractère génétique indépendant du type d'alimentation.

b. <u>Origine adaptative</u> :

En fait, ce sont les études de N.S. ROSENSWEIG qui permettraient de déceler l'origine de l'intolérance au lactose : d'origine génétique ou d'origine adaptative.

N.S. ROSENSWEIG a pu déterminer qu'environ 72 % des adultes de race noire, africains, présentent une intolérance au lactose. La même étude a porté ensuite sur les noirs américains qui sont implantés depuis plus de 300 ans et ont sensiblement la même alimentation que les américains de race blanche. Il démontre que 70 % de ces noirs ont une activité lactasique déficiente. C'est vers l'âge de 20 ans qu'ils ont dû abandonner la consommation de lait en raison de troubles digestifs occasionnés par cette ingestion (pendant leur adolescence, ils ont coutume de boire plus d'un litre de lait par jour).

Chez des sujets normaux et des sujets déficients en lactase, une administration progressivement croissante de lactose dans le régime alimentaire n'entraîne qu'une augmentation excessivement faible de l'activité lactasique. Inversement, la suppression de l'ingestion de lactose dans l'alimentation pendant plusieurs mois, n'entraîne pas une diminution de l'activité lactasique.

Cette théorie provenait du fait qu'à l'origine ces mêmes expériences avaient d'abord été réalisées chez le rat, qui lui, montre une réponse adaptative.

c. <u>Origine acquise</u> :

Les défauts d'activité lactasique intestinale peuvent être la conséquence d'états pathologiques divers.

Ainsi on a remarqué que 1/3 des sujets gastrectomisés présentent dans les jours suivant l'intervention chirurgicale, une insuffisance en lactase. En fait, il ne s'agirait là que d'un déficit latent en

rapport avec une plus grande rapidité du transit jéjunal. Cependant, il semble que ce problème soit très mal connu.

Après une pathologie d'origine infectieuse, telles des diarrhées infectieuses, on assiste à des déficits transitoires en lactase. Là encore l'intolérance n'est que transitoire. On a constaté de même que l'absorption prolongée de certains antibiotiques (tels ceux du groupe des oligo-saccharides, prescrits à dose très importante) conduit au même phénomène. Lorsque survient l'arrêt de l'antibiothérapie, ces troubles régressent.

Dans la pathologie intestinale, la liste des causes amenant une intolérance au lactose est importante.
On la rencontre dans des affections digestives telles la recto-colite ulcéro-hémorragique, les états de malabsorption du grêle, les entéropathies par sensibilité au gluten, les sprues tropicales et les affections apparentées, les lymphangiectasies intestinales, la maladie de WHIPPLE. On peut noter que, dans ces troubles pathologiques, il y a une disparition ou une baisse de l'activité des diverses disaccharidases, la lactase n'étant que l'une d'elles.

La même caractéristique se retrouve dans le lymphome intestinal.

Quant aux parasitoses intestinales, les mêmes remarques sont à faire, le retour à la normale survient lors de la disparition de l'infestation.

Une baisse d'activité lactasique a été aussi observée dans certaines conditions pathologiques variées, telles les poussées ulcéreuses gastriques ou duodénales, au cours des hépatites infectieuses, les mucoviscidoses, dans les cas d'abêta lipoprotéinémie.

B) LES SYMPTOMES DE L'INTOLERANCE AU LACTOSE

Chez l'enfant, le symptôme majeur est la diarrhée liquide, abondante, à odeur aigrelette. Des vomissements plus ou moins abondants sont de règle. Ces symptômes entraînent une baisse rapide de l'état général, par suite d'un important déficit calorique, d'une déshydratation importante, de troubles rénaux sous forme d'une néphrose osmotique, qui résulte de la lactosurie.

Chez l'adulte, les symptômes rencontrés sont généralement des douleurs abdominales diffuses, intermittentes, accompagnées de borborygmes et d'un météorisme abdominal. On note qu'à la suite de l'ingestion de lait, les personnes intolérantes présentent ces symptômes plus ou moins tôt selon les sujets, parfois même le déficit en activité lactasique est totalement méconnu par certains individus. Cela peut venir de la très faible proportion de produits laitiers consommés dans la ration ou du fait aussi que certaines personnes, bien qu'ayant une activité lactasique insuffisante, supportent cependant une absorption quotidienne de lait ou de produits laitiers.

C) PATHOGENIE DE L'INTOLERANCE AU LACTOSE

La lactase faisant défaut, le lactose, au niveau de l'intestin grêle, ne peut être scindé en galactose et en glucose et ensuite absorbé par la muqueuse intestinale. L'accumulation du lactose dans la lumière intestinale de l'intestin grêle réalise une augmentation de la pression osmotique et un appel d'eau. Il y a en même temps une augmentation de la flore saccharolytique. La flore rencontrée lors de l'étude du contenu intestinal se compose essentiellement de bactéries non spécifiques telles que certaines espèces de Klebsiella et des Escherichia coli non pathogènes. Cependant, occasionnellement, on peut trouver une flore pathogène, avec des Salmonelles ou des Escherichia coli pathogènes. Cette flore produit des entérotoxines tandis que son

activité métabolique s'accompagne d'une hyperproduction d'acide acétique et d'acide lactique, qui sont ensemble à l'origine de l'entérite que l'on observe lors de ces intolérances au lactose.

Ces anomalies créent ainsi une diarrhée chronique, mousseuse et acide, dont les conséquences sont une carence nutritionnelle calorique et des pertes hydro-électrolytiques ainsi qu'une déshydratation.

D) LES MOYENS DE DETERMINER LES INTOLERANTS AU LACTOSE

a. Dosage de l'activité lactasique par prélèvement biopsique :

Le prélèvement biopsique se fera à l'aide de la sonde de Charles DEBRAY sous contrôle radioscopique, à 30 cm de l'angle de TREITZ. L'activité lactasique sera mesurée par la méthode de DALHQUIST qui détermine les activités enzymatiques de l'entérocyte, comprenant :

- la lactase de la bordure en brosse,
- la Bêtagalactosidase lysosomiale acide,
- l'hétéro Bêtagalactosidase cytoplasmique.

On peut cependant noter que la biopsie pourra aussi être réalisée lors de l'intervention chirurgicale sur l'intestin.

b. Dosage de l'activité lactasique par la mesure de la glycémie - galactosémie :

On fait ingérer à des personnes 50 g de lactose dans 20 ml d'eau. Une prise de sang est effectuée avant cette ingestion, puis après 20 minutes, 40 minutes, 60 minutes et 90 minutes.

On mesurera la glycémie par la technique à la glucose-oxydase et la galactosurie par la technique à la galactose-oxydase.

On considère qu'une augmentation de 0,20 g/l de la glycémie et qu'une élévation de la galactosurie de 0,05 g/l correspondent à une absorption normale du lactose.

c. Epreuve du repas baryté :

On administre un repas baryté auquel on ajoute 25 g de lactose. Lors de l'intolérance, on observe, par radiographie, une distension du jéjunum avec dilution et floculation de la baryte qui est en outre fragmentée en de multiples petites masses par un péristaltisme intestinal nettement accru. Le transit jéjuno-iléal est considérablement raccourci.

d. L'épreuve isotopique :

On mesurera le taux de Co2 radio-actif éliminé après absorption orale de lactose marqué au C_{14}.

On préfèrera les autres méthodes à cette dernière car on tend actuellement à éviter de manipuler les isotopes.

e. L'expression pulmonaire d'hydrogène suivant l'ingestion de lait :

L'intérêt de ce test, qui date de 1970, est qu'il n'est pas agressif pour le patient, qu'il donne une bonne quantité d'hydrates de carbone non absorbés atteignant le gros intestin, qu'il permet des études de population.

Au temps To, on administre par voie orale du lactose à un patient ; 2 heures puis 2 heures ½ après, on lui demande de souffler dans un sac plastique de 15 litres, avec plusieurs expirations profondes. Le contenu du sac est transféré dans un pulvérisateur aérosol en aluminium, à la pression de 4 bars, et la quantité d'hydrogène est déterminée à partir d'un échantillon de 0,3 ml par chromatographie en phase gazeuse.

Le détecteur et le four sont mis à température de 40°C.

Le gaz porteur choisi est de l'air comprimé de façon à éliminer les pics d'N_2 et d'O_2 et ainsi on raccourcit le temps d'analyse considérablement (Diagramme).

230

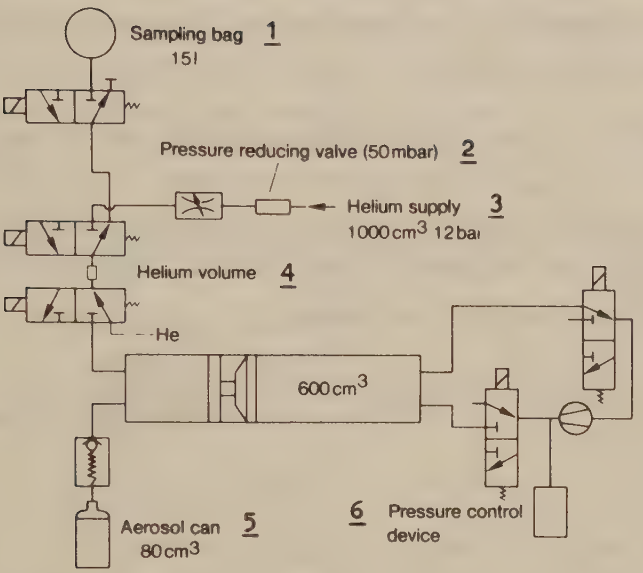


Fig. 1. Diagram of the apparatus constructed for helium admixture and storage of breath samples in aerosol cans.

Fig.1 Diagramme de l'appareil construit pour le mélange d'hélium et le stockage d'échantillon de volume respiratoire dans des boîtes d'aérosol.

1) Poche échantillon
2) Valve réductrice de pression
3) Alimentation en hélium
4) Volume d'hélium
5) Boîte aérosol
6) Appareil de contrôle de la pression

f. Détection de l'intolérance au lactose à partir des selles :

1. La détermination du pH des selles à l'aide d'un indicateur permettra de révéler une éventuelle intolérance, si le pH descend en dessous de 5 - 5,5.

2. La recherche de substances réductrices dans les selles, faite à l'aide d'une tablette "Clinitest" introduite dans un tube à essai contenant 5 gouttes de selles liquides mélangées à 10 gouttes d'eau, est également significative quand on trouve plus de 0,5 % de substances réductrices.

Ces deux méthodes sont couramment et facilement employées chez les enfants.

II. ABAISSEMENT DU TAUX DE LACTOSE DANS LES PRODUITS LAITIERS

Dans ce chapitre, nous étudierons en premier lieu les moyens de doser le lactose dans les produits lactés, ensuite nous envisagerons les méthodes pour abaisser le taux de lactose de ces produits, et enfin, nous décrirons les principaux produits laitiers délactosés dont on dispose sur le marché.

A) DETERMINATION DU LACTOSE DU LAIT ET DES PRODUITS LAITIERS

1. Méthodes colorimétriques :

On se limitera volontairement dans ce chapitre, à l'étude des principes des réactions.

- Méthode de BERTRAND.

Le lait est déféqué à l'aide de l'hexacyanoferrate de zinc et le précipité obtenu réduit à chaud une solution cupro-alcaline, en donnant un précipité d'oxyde cuivreux, qui est dissous par une solution de sulfate ferrique. Le sulfate ferreux formé est dosé par manganimétrie en présence d'orthophénantroline ferreuse comme indicateur.

- Méthode d'après POTTERAT-ESCHMANN.

Le lait est déféqué à l'aide de l'hexacyanoferrate de zinc et le précipité obtenu réduit à chaud une solution cupro-alcaline. Le précipité d'oxyde cuivreux formé est dissous par une solution d'acide nitrique et le cuivre est dosé par une solution d'éthylène-diamine tétra-acétate de sodium (E.D.T.A.), en présence de murexide ou d'acide calcone carbonique comme indicateur.

2. Méthode chromatographique : chromatographie en phase gazeuse

Comme le lactose n'est pas assez volatil pour être directement déterminé par chromatographie en phase gazeuse, on le transforme en ester

silylé. Le lactose est mis en solution dans des solvants appropriés et les groupements -OH sont remplacés par le groupement $-Si-(CH_3)_3$.

Le solvant sera le triméthylchlorosilane (TMCS) qui est le réactif principal. Le catalyseur sera l'hexaméthyldisilazane (HMDS).

On prendra comme étalon le bêtaphényl D-glucopyrannoside.

Exemple de protocole de travail :

- colonne de verre de diamètre extérieur = 1/8"
- longueur = 2 m.
- colonne remplie de gas-chrom Q 80/100 mesh imprégnée de SE 30 à 3 %
- gaz vecteur : azote
- température = 120°C à 275°C : 2°C/minute
- injection de 0,5 microlitre
- détecteur à ionisation de flamme :
  température de l'injecteur = 250°C
  température du détecteur = 280°C

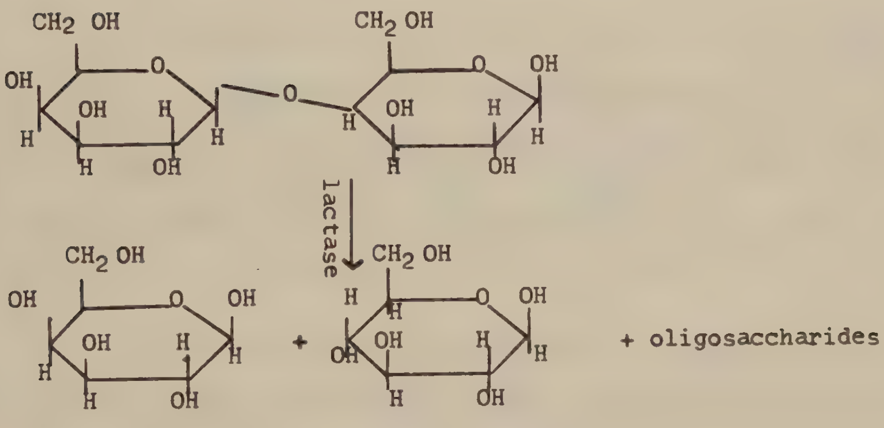
B) MOYENS UTILISES POUR ABAISSER LE TAUX DE LACTOSE

1. Action de la lactase :

La lactase scinde la molécule en galactose et glucose. La lactase ou bêtagalactosidase se rencontre dans les végétaux, le règne animal, les micro-organismes.

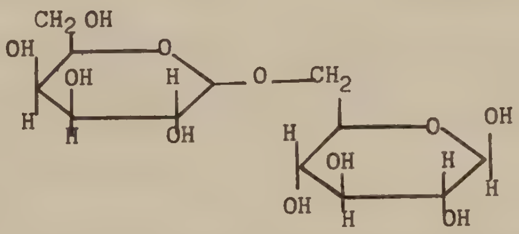
Actuellement, cette enzyme est préparée à partir de certaines souches de Saccharomyces : S.torulopsis - S.fragilis - S.lactis
de Escherichia Coli,
d'Aspergillus niger,
etc...

La réaction générale est la suivante :

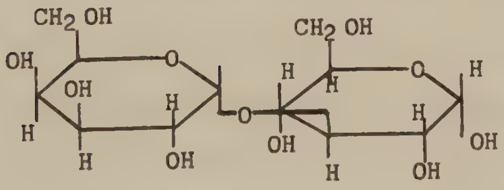


Bêta D Galactose Bêta D Glucose

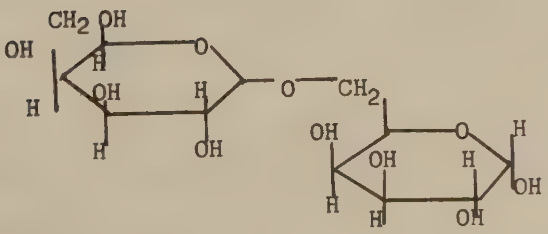
Oligosaccharides : - 6 OD Galactosyl-glucose (Helibiose)



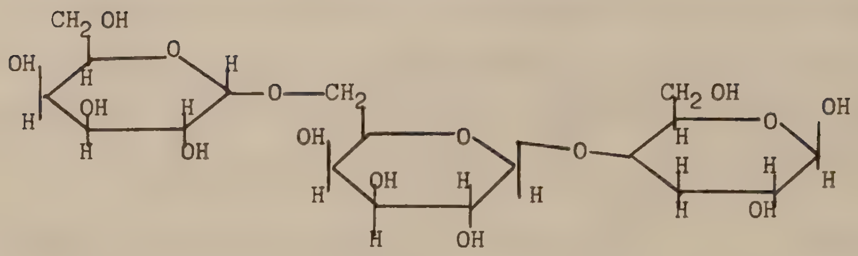
- 3 OD Galactosyl-glucose



- 6 OD Galactosyl-galactose (Galactobiose)



- Galactosyl-lactose



. Mesure de l'activité de la Bêtagalactosidase :

La Bêtagalactosidase hydrolyse l'O-nitrophénylD galacto-pyrannoside (ONPG) en donnant l'O-nitrophénol et du galactose. La densité optique de l'O-nitrophénol est en rapport avec l'activité de l'enzyme.

2. Le réacteur enzymatique à membrane :

Cette méthode est directement inspirée de la précédente : on utilise la même enzyme que celle précitée mais, pour en réduire le coût d'utilisation, on peut fixer la lactase sur un support solide (billes de verre, particules ou membrane de collagène, barreau aimanté recouvert de polytétrafluoroéthylène, etc...) que l'on met en contact avec le produit laitier à hydrolyser.

Les lactases ainsi fixées présentent en général une meilleure stabilité aux traitements physiques (température, agitation) mais leur activité demeure inférieure à celle de l'enzyme libre : une partie active de la molécule est en effet masquée par la fixation et les conditions optimales d'activité sont modifiées. Par ailleurs, avec de tels réacteurs à enzyme fixée, l'emploi des agents détergents et désinfectants habituellement utilisés pour le nettoyage et l'aseptisation dans l'industrie alimentaire, est à proscrire car ces agents risquent de dénaturer irréversiblement l'enzyme. La réutilisation de ces réacteurs peut donc conduire à une contamination inadmissible des lots de lait soumis à l'hydrolyse.

La technologie dite "du réacteur enzymatique à membrane" peut pallier ces inconvénients. En effet, l'enzyme maintenue en solution au niveau de la membrane conserve les caractéristiques de l'enzyme libre ; la solution de lactase peut être concentrée et récupérée en quasi-totalité à la fin de chaque opération. Le nettoyage et la désinfection des installations d'hydrolyse peuvent donc s'effectuer dans les conditions optimales.

L'utilisation de tels réacteurs pour l'hydrolyse du lactose contenu dans le lait et ses dérivés nécessite une séparation préalable des protéines.

Cela sera réalisé par ultrafiltration.

(voir fig. 2)

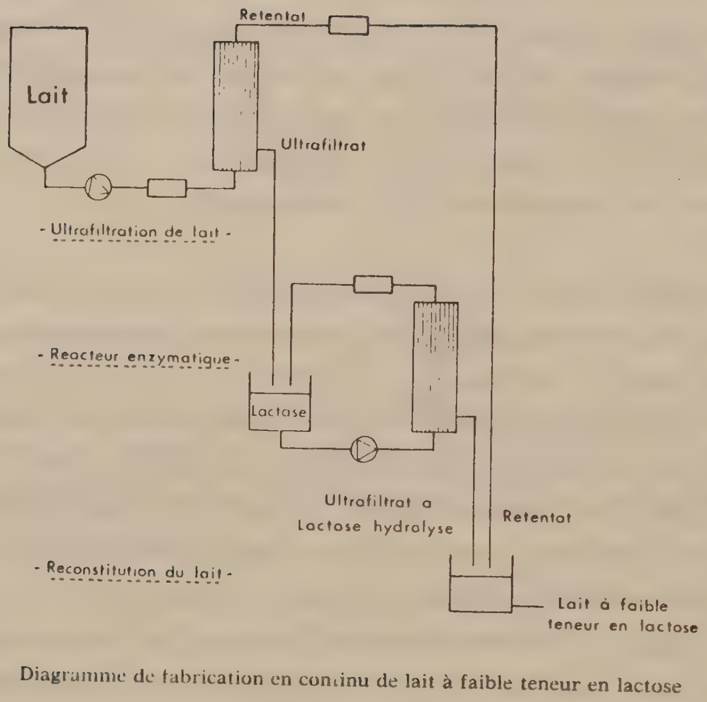


Fig.2 Diagramme de fabrication en continu de lait à faible teneur en lactose

C) LES PRODUITS LAITIERS DELACTOSES

Il existe divers types de produits laitiers délactosés. Nous parlerons ici des laits fermentés, avec une étude sur les produits laitiers fermentés traditionnels d'une part, puis une étude sur les produits laitiers fermentés nouveaux. Ensuite, nous envisagerons la fabrication du fromage qui est un produit délactosé, et enfin, nous étudierons les laits délactosés par l'utilisation de la lactase.

1. Les laits fermentés :

Depuis toujours, l'homme a tiré parti du fait que le lait, en vieillissant, s'aigrissait du fait de sa fermentation. En effet, la fermentation du lait est un phénomène naturel de conservation. La fermentation est due à des microorganismes acidifiants qui utilisent le lactose comme énergie et le transforment en acide lactique d'où une acidification (aigrissement) du lait. Cependant, on sait aussi que certaines fermentations peuvent conduire à la production d'alcool.

Ces laits fermentés ont depuis très longtemps été fort appréciés dans leur pays d'origine. Ils ont toujours été reconnus comme très facilement digestibles (faible taux de lactose) et, même, des auteurs tels que METCHNIKOFF leur ont reconnu des propriétés bénéfiques : ces laits fermentés prolongeraient l'existence et amélioreraient la santé en atténuant les phénomènes de putréfaction intestinale.

Ce sont les pays à forte production laitière qui ont organisé l'industrialisation de la préparation de ces produits, grâce à la connaissance parfaite des processus de fermentation qui sont à leur origine et à une bonne maîtrise de leur flore bactérienne spécifique. Dans ces pays, même si on conserve les méthodes ancestrales de fermentation, ce sont actuellement les méthodes industrielles qui four-

nissent la plus grande quantité de ces laits fermentés.

Géographiquement, la fermentation du lait s'est faite de façon traditionnelle dans les pays d'Europe du Nord et du Nord-Est, l'Europe du Sud-Est, Caucase compris, la Transcaucasie et la partie soviétique de l'Asie du Sud-Ouest, les pays du Proche-Orient et la péninsule indienne. On peut y ajouter certaines régions de l'Afrique, à caractère pastoral, ainsi que certains pays d'Amérique latine.

En général, eu Europe, traditionnellement, on utilise du lait frais pour la fermentation alors qu'en Asie, on utilise plutôt le lait bouilli.

L'Europe Occidentale et l'Amérique du Nord, dans l'industrialisation de ce produit, ont parfois repris des méthodes anciennes de culture en en conservant le nom d'origine tels le Yoghourt ou le Kéfir, d'autres fois ils ont tenté de créer des produits nouveaux.

. Les produits fermentés traditionnels

1. Le Yoghourt

Ce produit laitier, qui a pour synonymes "Yaourt" ou "lait caillé bulgare", peut être produit à partir de lait de vache, de brebis, de chèvre, de bufflesse ou de jument. Cependant, en Europe, il est presque exclusivement produit à partir de lait de vache, plus rarement à partir de lait de brebis, comme en Espagne.

La fermentation du Yoghourt résulte de l'association de deux ferments lactiques : Lactobacillus bulgaricus et Streptococcus thermophilus.

Le Lactobacillus bulgaricus est une bactérie lactique homofermentaire qui se développe bien à des températures de 45 - 50° C, en acidifiant fortement le milieu. Elle peut former dans le lait jusqu'à 2,7 % d'acide lactique.

Le Streptococcus thermophilus est aussi une bactérie homofermentaire, qui survit à des températures de 65° C, se développant bien cependant à des températures de 40 - 45° C. Elle est beaucoup moins acidifiante que l'espèce précédente et elle est responsable de l'arôme.

Ces deux germes sont microaérophiles et se développent bien en milieu acide (pH de 4 - 4,5). Dans le Yaourt, ces deux espèces vivent en symbiose ; en effet, en culture associée, les deux bactéries produisent d'avantage d'acide lactique que lorsqu'elles sont cultivées seules. Le lactobacille protéolytique détache de la caséine certains acides aminés qui interviendront comme activateurs des Streptocoques lactiques.

Au début de la fabrication, c'est le Streptocoque qui prédomine car le pH lui est favorable et c'est lui qui assure le départ de la fermentation lactique ; puis, comme nous le disions plus haut, l'action caséolytique des Lactobacilles stimule le développement des Streptocoques. Par la suite, l'acidification du lait devient telle qu'elle est défavorable aux Streptocoques, la croissance des Lactobacilles sera alors plus importante. Le caillage du lait se produit lorsque l'acidité atteint 70 à 80° D.

On comprend donc que, dans la technologie du Yaourt, on s'attachera à garder un bon équilibre de développement des deux germes afin d'obtenir un produit suffisamment acide et aromatisé.

Le Yaourt peut se produire à partir de lait entier, écrémé ou partiellement écrémé. Dans ces deux derniers cas, on aura intérêt à ajouter une quantité convenable de poudre de lait écrémé,

afin de porter son extrait sec à 140 - 160 g/l s'il s'agit de lait partiellement écrémé, à 100 - 120 g/l s'il s'agit de lait écrémé. Cela peut se faire sur le lait entier, conférant au produit fini une consistance plus ferme. Cependant, en homogénéisant le lait entier, ce qui évite la remontée de la crème en cours d'incubation, on obtient le même résultat...

Le lait est alors pasteurisé (soumis à des températures de l'ordre de 84 - 85° C pendant quelques secondes) ou soumis au traitement UHT. Le lait est ensuite ramené à 45° C, température favorable au développement des germes que l'on ajoute alors. Les Lactobacilles et les Streptocoques sont introduits en quantité égale, la dose de la culture étant de 2 à 3 %. Le lait ainsi ensemencé est agité et réparti en pots qui seront maintenus à la même température à l'étuve. L'incubation dure de 2 à 3 heures. L'acidité devra être de 80 à 100° D traduisant un bon équilibre entre les deux ferments. A la sortie de l'étuve, on abaisse brutalement la température à + 10° C pour stopper l'acidification sinon si le phénomène se prolongeait, on assisterait à la rétraction du caillé et à la séparation du sérum.

Pendant l'incubation, en jouant sur la température, on peut favoriser la croissance de l'une ou l'autre espèce, et ainsi varieront l'arôme (dû au Streptococcus) et l'acidité (due au Lactobacillus).

Pour obtenir un Yaourt peu acide et aromatique, on peut également utiliser un levain jeune dans lequel le Streptococcus est en plein développement en raison de l'acidité relativement faible. Si on désire un Yaourt relativement acide, on emploiera un levain plus âgé où le Lactobacillus prédomine, du fait de sa résistance au milieu acide.

Des Yaourts aromatisés aux fruits existent déjà depuis un certain temps. Ils sont préparés en incorporant au lait, au mo-

ment de l'ensemencement, des essences naturelles (ce sont des distillats incolores) de fruits comme abricot, ananas, citron, framboise, etc...

Plus récemment, ces arômes ont été obtenus en incorporant de la pulpe de fruit au Yaourt déjà coagulé en cuve et battu à froid.

La qualité nutritive du Yaourt (comme du lait) se caractérise par le fait que les protéines obtenues sont de composition voisine de celle de la viande et sont donc facilement digestibles. Des vitamines hydrosolubles sont présentes et leur valeur nutritive serait peut-être supérieure à celle de la viande. Ainsi la riboflavine et la thiamine sont rencontrées en quantités égales à celles de la viande. Par contre, la vitamine A est peu abondante car les Yaourts du commerce sont préparés à partir de lait partiellement écrémé.

Pour ce qui est des vitamines du groupe B, le taux de B6 est supérieur au taux initial du lait, la vitamine B2, quant à elle, disparaît lors d'un stockage prolongé. Les sels minéraux diminuent légèrement par rapport au lait, cependant le calcium et le phosphore restent à un taux important et souvent supérieur à celui du fromage. On note, de plus, que la présence de Yaourt dans la ration alimentaire a pour effet de doubler l'absorption intestinale du calcium.

Comme nous le disions précédemment, l'acide lactique est formé à partir du lactose ; la baisse du taux de lactose permet une meilleure assimilation.

On peut donc conclure en soulignant le fait que le Yaourt possède la même valeur nutritive que le lait, mais comme environ 1/4 du lactose est transformé en acide lactique, l'acceptabilité s'en trouve améliorée.

2. Le Kéfir

Le Kéfir est une boisson gazeuse et alcoolisée, originaire du Caucase. La préparation de ce produit nécessite d'abord la production des grains de Kéfir, puis celle du Kéfir proprement dit.

Les grains de Kéfir sont obtenus par coagulation du lait par mise en contact de ce dernier dans une outre, avec un fragment d'estomac de mouton ou de veau ; la réaction de coagulation est rapide et spontanée. Après cette opération, on remplit à nouveau l'outre pour faire cailler un autre volume de lait et ainsi de suite.

Après plusieurs semaines, une croûte spongieuse apparaît sur la paroi de l'outre. C'est cette croûte qui est prélevée, divisée et séchée et qui donnera les grains de Kéfir. Ces grains sont vendus dans le commerce comme levain dans la préparation du Kéfir.

Dans les grains de Kéfir, plusieurs germes sont rencontrés, tels que : Saccharomyces Kéfir, qui est une levure proche de la levure de bière ; Streptococcus cremoris, Streptococcus lactis, Lactobacillus caucasicus, qui sont des bactéries lactiques. A cet flore fondamentale s'ajoute une flore accessoire, de pollution (Ac tobacter, Klebsiella, etc...).

Les lactobacilles hydrolysent le lactose en glucose et galactose qui peuvent être transformés en alcool par les levures. Le Lactobacillus caucasicus trouve des facteurs de croissance qui lui sont indispensables parmi les produits de dégradation issus de la lyse de certaines cellules de levures disparaissant du milieu.

Le Kéfir est préparé en laissant préalablement macérer les grains de Kéfir dans de l'eau bouillie tiède pendant six heures, puis en immergeant cette préparation dans du lait pasteurisé tiède pendant au moins 24 heures, ce qui a pour résultat de rajeunir les ferments. La culture ainsi préparée sert à ensemencer du lait pasteurisé que l'on porte à la température de 20° C. La dose employée est de l'ordre de 2 %. Après 24 heures de repos, le lait coagulé est séparé des grains par tamisage et mis en bouteilles fermées. Elles seront entreposées à la température de + 15° C pendant un à quatre jours ; c'est pendant cette période que se produit la fermentation alcoolique. Les grains de Kéfir récupérés pourront être réutilisés ; on les conserve en les lavant tous les quatre-cinq jours avec une solution de soude à 1 %.

L'industrialisation éventuelle de ce produit porterait sur des cultures pures de ferments isolés des grains.

Le Kéfir doit titrer 0,8 % environ d'acidité lactique, 0,7 % d'alcool et 50 % en volume de gaz carbonique. Cependant plusieurs types de Kéfir pourront être préparés selon les goûts du consommateur : le Kéfir dit "faible" sera pauvre en acide, en alcool et en gaz carbonique, le Kéfir sera "fort" s'il est très acide, très alcoolisé et riche en gaz carbonique (très mousseux).

En France, le Kéfir est peu connu ; par contre, en URSS. il est très prisé et il représente 75 % de la consommation des laits fermentés.

3. Le Koumiss

Depuis des siècles, le Koumiss a été préparé, à partir du lait de jument, par les populations des steppes de l'Asie

Centrale. A l'heure actuelle, cette boisson est toujours beaucoup consommée en URSS centrale et méridionale, à tel point que même des élevages de jument ont été créés en vue de cette production.

De la même manière que le Kéfir, les particularités organoleptiques sont dues à la fermentation alcoolique et lactique. De plus, là encore, on distingue des Koumiss forts, doux ou moyens, les variations étant en rapport avec le degré d'acidité et d'alcool du produit. Le levain comprend principalement des ferments lactiques et des levures.

En URSS, on attribue au Koumiss une action curative dans le traitement de certaines affections pulmonaires : ainsi l'on compte près de cinquante établissements soignant des malades atteints de tuberculose pulmonaire, à l'aide de Koumiss préparé sur place. La dose curative est administrée à raison de 1,5 litre par jour.

Le Koumiss est parfois préparé aussi à partir de laits d'ânesse et de chamelle.

4. Autres laits fermentés traditionnels

Dans de nombreuses régions défavorisées du monde, le lait est conservé par fermentation lactique à partir de lait de vache, de brebis, de bufflesse, de chèvre, d'ânesse, de chamelle... Dans ce cas, souvent, le lait est au préalable écrémé à la louche et on laisse ensuite le lait fermenter spontanément, à moins que l'on incorpore un peu de caillé de la veille. En raison des conditions peu hygiéniques, la fermentation n'est rarement que lactique.

Cependant, on connaît de vrais laits fermentés se rapprochant du Yoghourt et répondant à des techniques traditionnelles.

C'est le Leben en Afrique du Nord, au Moyen-Orient, au Proche-Orient ; le Mast en Iran ; le Dough en Afghanistan ; l'Eyran en Asie mineure ; le Dahi en Inde.

Ces préparations répondent aux possibilités régionales : lait de brebis, de chèvre, de bufflesse... Le lait est porté à l'ébullition puis refroidi à 40 - 50° C ; il est ensuite ensemencé avec le caillé de la veille. On le laisse coaguler à température ambiante. Il est enfin consommé lorsqu'il acquiert une consistance épaisse et visqueuse.

Le Mazun d'origine Arménienne et le Gioddu de Sardaigne répondent à peu près aux mêmes techniques.

Parfois, ces caillés sont égouttés, le petit-lait étant consommé comme boisson ; le caillé est alors séché au soleil et consommé comme tel ou aromatisé avec des herbes ou de la farine de blé ou du jus de citron ou d'autres produits.

Ce sont par exemple les Panir et Kurut d'Afghanistan ; le Jub-jub du Liban, le Kushut d'Irak, le Tarhana de Turquie, le Channa d'Inde, etc...

• Les produits fermentés nouveaux

1. Le lait à l'acidophile

Il s'agit d'un lait fermenté dans lequel, selon l'hypothèse de ORLA-JENSEN, les Lactobacillus seraient capables de se développer dans l'intestin (contrairement à ce qui a été démontré pour les germes du Yaourt).

Le germe utilisé pour la fabrication du lait à l'acidophile est Lactobacillus acidophilus, mais la thèse sur l'apti-

tude de Lactobacillus acidophilus à se multiplier dans l'intestin est actuellement remise en question.

Quoiqu'il en soit, ce produit est préparé à partir de lait pasteurisé, de lait stérilisé ou de lait soumis à un traitement UHT, le but étant d'éliminer tous les germes pour n'ensemencer qu'avec Lactobacillus acidophilus. L'ensemencement est effectué dans le lait porté à la température de 37° C, avec une culture pure à raison de 2 à 5 %, puis le lait est mis en bouteilles et maintenu pendant 24 heures à 35 - 37° C pour favoriser la coagulation.

Le produit fini est très acide (1,5 % d'acidité) et il est donc assez désagréable au goût. Il n'est actuellement pas répandu en Europe, sans doute à cause de cette particularité.

Le lait à l'acidophile aurait un effet thérapeutique : il serait efficace contre les troubles intestinaux, tels que entérites, constipation, urticaire...

2. Le lait fermenté en masse

Ce produit laitier est très proche du Yaourt. Il est produit en cuve. Quand le produit est coagulé, sous l'effet de la fermentation, il est brassé pour obtenir une consistance crémeuse et il est alors réparti en pots ou en bouteilles (la coagulation du Yaourt se faisant directement en pots).

Les conditions de préparation doivent être telles qu'il n'y ait pas séparation du caillé et du sérum, dans les délais de commercialisation. Pour ce faire, il faut un préchauffage à 80° C et une acidité supérieure à 75° D ; enfin l'agitation terminale doit se faire à froid, à des températures inférieures à 10° C. Le stockage à 5° C pendant trois jours permet de maintenir ce produit dans un état homogène.

De la même manière sont produits "la crème de Yaourt" et le "Cultured buttermilk". Le "Cultured buttermilk" est très consommé aux Etats-Unis ; il est produit avec du babeurre mais surtout actuellement avec du lait écrémé. Le prix de revient du "Cultured buttermilk" est inférieur à celui du Yaourt.

3. Les laits concentrés fermentés

C'est en Scandinavie que ces produits ont vu le jour. Là-bas, ils sont connus sous les noms de Ymer, Tykmaelk, Laktofil. La concentration du lait se fait à 15 % d'extrait sec et 4 % de matière grasse. Le lait est coagulé en masse par fermentation puis agité et mis en récipients de carton ou en pots de verre.

Le produit fini paraît peu acide, il est très onctueux et velouté. Ces produits, consommés froids, sont très agréables au goût et surtout prisés par les personnes qui craignent l'acidité du Yaourt.

2. Le fromage :

La fabrication des fromages constitue également un mode de conservation du lait, mais les produits sont beaucoup plus variés et leur acceptabilité est beaucoup plus grande que celle du lait. Etant donné la grande variété des fromages, seules seront évoquées les étapes de fabrication pour faire ressortir les moments où le taux de lactose est abaissé.

a) Coagulation ou caillage du lait.

Il s'agit d'une floculation des micelles de caséine qui se

soudent pour former un gel emprisonnant le sérum. Il existe deux méthodes pour obtenir cette floculation : l'acidification lactique d'une part, l'action de la présure d'autre part.

- La coagulation lactique :

Comme dans le cas des laits fermentés, c'est l'action des bactéries lactiques qui assure le caillage. Le lactose est progressivement transformé en acide lactique, entraînant une acidification du lait et, lorsque le pH atteint 4,6 - point isoélectrique de la caséine - il y a floculation. Ce caillé présente les caractéristiques suivantes : fermeté, friabilité, perméabilité, micelles à contractilité réduite.

- La coagulation présure :

La coagulation se produit en incorporant au lait tiède de la présure. Cependant, comme la présure n'agit pas à pH alcalin, un certain degré d'acidification lactique sera nécessaire. Le caillé présure résulte de la réunion des micelles de caséine entre elles par des "ponts calcium" et présente, de ce fait, les caractéristiques suivantes : consistance gélatineuse et souple, imperméabilité, contractilité notable et lente des micelles.

Si le pH du lait est trop acide, les caractéristiques du caillé seront intermédiaires entre celles du caillé présure et celles du caillé lactique.

b) L'égouttage du caillé.

Il s'agit de la séparation du sérum du caillé. Ce phénomène se produit sous l'effet de la contraction des micelles qui entraîne l'expulsion du sérum. Le sérum contient les fractions hydrosolubles comme le lactose, la lactalbumine, la lactoglobuline, les matières minérales. On voit que cette phase est fonda-

mentale dans l'élimination du lactose et le caillé restant est constitué essentiellement de la matière grasse et de la caséine.

- Egouttage d'un caillé lactique :

Il se fait spontanément et rapidement, mais on constate qu'il est incomplet du fait de sa contractilité limitée. Le sérum est riche en sels minéraux et surtout en lactate de calcium. Les ferments lactiques se développant bien à la température de l'ordre de 30° C, l'égouttage se fait plus rapidement et, de plus, à cette température, la contractilité des micelles est plus élevée.

- Egouttage d'un caillé présure :

S'il n'y a eu aucune fermentation lactique, le caillé présure ne s'égouttera pas spontanément. Un découpage ou "rompage" du caillé sera nécessaire pour multiplier les surfaces d'exsudation. On devra ensuite brasser le caillé de manière à éviter que les fragments ne se ressoudent et un "pressage" permettra un égouttage beaucoup plus poussé que dans le caillé lactique.

Le caillé présure égoutté conserve une quantité importante de matières minérales car le lactose n'est que partiellement transformé en acide lactique et donne peu de lactate de calcium. En outre, le calcium est adsorbé sur les micelles de paracaséinate, ce qui confère une forte cohésion au caillé de ce type de fromage permettant la fabrication de pièces de grande taille et à pâte ferme, tels les Gruyères, le Cantal...

c) L'affinage du caillé.

Il existe de nombreux modes d'affinage, sauf pour les fromages

consommés frais, c'est-à-dire après l'égouttage. Ceux-ci se consomment additionnés de sucre, de sel, de crème, d'herbes, etc...

Le caillé, s'il est laissé dans les conditions ambiantes, subira une maturation sous l'effet de divers microorganismes (bactéries, levures, moisissures) qui attaquent la caséine en la scindant en peptones (de saveur peu accentuée), en polypeptides, en acides aminés (de goût et d'odeur plus prononcés), voire en ammoniaque et H_2S si la maturation se prolonge jusqu'à la putréfaction. C'est cette maturation qui est responsable des caractéristiques organoleptiques des divers types de fromages et permet leur classification en :

- fromages à pâte molle moisie (camembert, Coulommiers, Brie, etc...). On favorise le développement de certaines moisissures (Penicillium, Monilia) qui puisent leur énergie en transformant l'acide lactique du caillé en gaz carbonique et eau. Les ferments lactiques, pendant ce temps, poursuivent leur dégradation du lactose en acide lactique. Le produit final sera ainsi dépourvu d'acide lactique et de lactose.

- fromages à pâte molle lavée (Munster, Livarot, Maroilles, etc...). L'ammoniaque présent dans le milieu ambiant neutralise en surface le caillé. Ainsi des bactéries caséolytiques, apportées par le lavage, peuvent se développer et en libérant à leur tour de l'ammoniaque par protéolyse, elles neutralisent l'acidité lactique de l'ensemble de la pâte.

- fromages à pâte ferme (Saint-Paulin, Edam, Gouda, etc...) et à pâte dure (Gruyère, Cantal). Le calcium, qui assure la cohésion des micelles du caillé présure, neutralise aussi l'acide lactique au fur et à mesure de sa formation. Le brassage du caillé, l'égouttage, le lavage qui diluent le sérum retenu par le caillé,

diminuent la quantité de lactose résiduel et limitent ainsi l'acidification du caillé.

3. Laits délactosés : utilisation de la lactase :

Les études biologiques de ces dernières années ont permis d'obtenir des enzymes à l'échelle industrielle à partir de microorganismes. Les lactases font partie de ces enzymes, elles peuvent être obtenues à partir de Saccharomyces lactis, d'Aspergillus niger et d'Escherichia coli. Dans le lait, ces enzymes fermentent exclusivement le lactose. La valeur nutritive du lait demeure la même. Par ce procédé, les intolérants au lactose peuvent profiter de cette denrée.

Une Société américaine, la Sugar Lo Company, Atlantic City, New-Jersey (USA), commercialise de la lactase sous le nom de Lact-Aid, destiné aux intolérants au lactose. Un paquet de Lact-Aid est suffisant pour traiter 1/4 de litre de lait. Un paquet revient à 90 centimes actuellement. Le contenu du paquet est ajouté au lait bien mélangé et on maintient au réfrigérateur pendant 24 heures. Au bout de ce délai, 70 % du lactose au moins est transformé en glucose et galactose. Les intolérants au lactose très gravement atteints peuvent encore diminuer le taux de lactose par adjonction de plusieurs paquets (trois par exemple), ce qui permet une hydrolyse de 98 % du lactose.

Le lait doit être frais et de bonne qualité ; on peut utiliser du lait frais ou du lait en poudre mais il faut éviter les laits fermentés. Ainsi préparé, le lait délactosé peut être utilisé en boisson ou pour la préparation de plats, de Yoghourt, etc...

Le traitement des laits chocolatés n'est pas recommandé (il est préférable de délactoser avant de rajouter du chocolat).

On comprend que le problème majeur résulte dans le prix de revient de ce traitement. La délactosation du lait par cette méthode

est trop coûteuse pour pouvoir être produite industriellement ou, du moins, pour être exportée aux pays du Tiers-monde, pays déficitaires en énergie et en protéines de bonne qualité, et dont les populations de couleur sont intolérantes au lactose. La solution résiderait dans l'incorporation de la lactase au lait UHT ; en effet, le coût élevé est dû à la grande quantité de lactase demandée pour convertir le lactose dans le lait pasteurisé, assez rapidement pour pouvoir commercialiser le produit avant qu'il ne s'altère. Sachant que la lactase agit comme un catalyseur et ne se transforme pas tandis qu'elle scinde le lactose en sucres simples, selon une réaction en chaîne, progressive, on peut admettre que si l'on donne un temps suffisant au déroulement du processus, il suffira de très peu d'enzyme pour le réaliser.

Il y a des années qu'on a pensé à utiliser le lait UHT car il est stockable à la température ambiante et reste frais pendant des mois ; mais des problèmes importants sont intervenus au moment de l'introduction de la lactase au lait UHT : si l'on introduit la lactase avant la transformation du lait en lait UHT, l'enzyme est détruite lors du chauffage. Il faudrait alors introduire de la lactase stérile avant le conditionnement du lait UHT ; cela pose un autre problème car seule la microfiltration de l'enzyme peut la rendre stérile sans chauffage. Malheureusement, la taille des molécules de lactase est proche de celle de certains microbes, ce qui rend la stérilisation de l'enzyme très difficile si l'on utilise la microfiltration.

C'est la Société Tetra Pak International AB de Suède qui, par ses études, a permis de franchir ce dernier obstacle : un solvant a été mis au point pour la lactase qui peut désormais être filtrée pour en éliminer les microorganismes indésirables. Avec cette méthode, le coût de l'addition de lactase au lait UHT est de moins de quatre centimes par litre (en conditions optimales, ce pourrait être de l'ordre de 1 centime).

Il faut un système de dosage sophistiqué pour introduire la lactase dans le lait UHT.

Le filtrage, le dosage et le mélange sont effectués entre le réservoir du lait stérilisé et la machine de remplissage. Le système (dont les dimensions sont de 100/90/45 cm.) contient un filtre qui est lui-même stérilisé par la vapeur.

Comme précaution supplémentaire, le système est équipé d'une unité destinée à tester les bulles. Dans cette unité, de l'air comprimé est introduit à une pression calculée pour qu'il soit retenu par les pores de taille normale du filtre ; si des pores sont de taille trop importante, de l'air pourra traverser le filtre, et un réservoir témoin révèlera l'apparition d'une certaine quantité d'air dans le liquide. Si l'on ne voit pas de bulles, le filtre fonctionne de façon satisfaisante.

Une fois le filtre contrôlé, l'enzyme préfiltrée est alors envoyée sous pression à travers le filtre stérile. Une valve laisse passer la quantité déterminée vers le mixeur. La lactase est alors mélangée au lait dans le tuyau qui connecte au tank ou le stérilisateur à la machine de remplissage.

Le lait est alors scellé et stocké pendant plusieurs jours en vue d'un contrôle final. Un gonflement du paquet est témoin de la présence de microorganismes. Ce même stockage permet à la lactase de faire son travail.

Cette méthode est applicable au lactosérum.

Le lait UHT, par le fait qu'il élimine les problèmes de réfrigération et de stockage, est un produit pratique et de choix pour l'exportation. Rappelons qu'en plus des intolérants de race blanche,

il existe un énorme marché constitué par toutes les populations de couleur et en particulier vers les pays du Tiers-monde.

Connaissant les excédents de lait que connaissent l'Europe et les Etats-Unis, on voit là un débouché très intéressant.

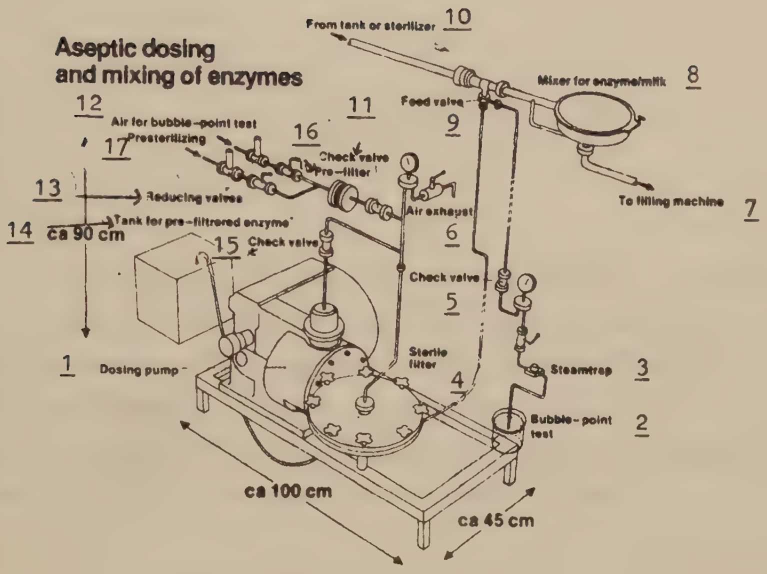


Fig.3 Dosage et mélange en condition aseptique des enzymes

1) Pompe de dosage
2) Contrôle de bulle d'air
3) Valve à vapeur
4) Filtre stérile
5) Valve de contrôle
6) Echappement d'air
7) Vers la machine de remplissage
8) Mélangeur enzyme/lait
9) Valve d'alimentation
10) Du réservoir ou stérilisateur vers
11) Valve de contrôle
12) Air pour le contrôle de bulle d'air
13) Valves réductrices
14) Réservoir pour les enzymes préfiltrées
15) Valve de contrôle
16) Préfiltre
17) Préstérilisation

- CONCLUSION -

Il existe une grande variété de produits laitiers à faible teneur en lactose. Les moyens pour les obtenir sont très diversifiés, qu'ils reposent sur des méthodes traditionnelles ou nouvelles. En plus des personnes qui apprécient ces produits par goût et qui les digèrent bien, les intolérants au lactose peuvent aussi les consommer et profiter ainsi de la haute qualité nutritive du lait.

On sait par ailleurs, que de nombreux pays souffrent de la faim et connaissent un grand déficit en énergie et en protéines de haute qualité. Par contre, d'autres pays dits industrialisés, connaissent des excédents très importants (USA, Canada, Europe Occidentale) risquant même de mettre en péril les prix de ces produits. On est ainsi amené à penser qu'un marché vers les pays en voie de développement est possible. Les populations de ces pays, malheureusement, souffrent souvent de l'intolérance au lactose. La transformation du lait en produits laitiers à faible teneur en lactose permettrait de réaliser ce marché et peut-être de combler le déficit protéinique et énergétique que connaissent ces pays. La méthode industrielle la mieux adaptée semble être celle du lait UHT délactosé par adjonction de la lactase, car de grandes quantités peuvent être produites à un prix de revient assez faible et stockées pendant de très longues durées.

: Le Professeur de l'Ecole Vétérinaire
rapporteur

Professeur Ch. LABIE

VU : Le Directeur de l'Ecole Vétérinaire

Professeur : R. LAUTIE

VU : Le Président de la Thèse

Professeur ROUX

VU et PERMIS D'IMPRIMER
Toulouse, le 29-7-1982
Le Président de l'Université Paul Sabatier

UNIVERSITÉ PAUL SABATIER TOULOUSE

Professeur D. BANCEL

BIBLIOGRAPHIE

- AXTON J.H.M.
  The Central African Journal of Medicine
  1972, n° 18, 118-121

- BAYLESS T.M.
  Hospital Practice
  1976, n° 11, 97-102

- COELLO-RAMIREZ P., LIFSHITZ F. et ZUNIGA V.
  Pediatrics
  1972, N° 49, 233-242

- DONNA PAYNE-BOSE P.D., JACK D., WELSH M.D., HARRY L., GEARHART P.D.
  The American Journal of Clinical Nutrition
  1977, n° 30, 695-697

- ELLESTAD-SAYED J., LEVITT M.D., BOND J.H.
  Federation proceedings
  1979, n° 38, 609

- FROMANTIN M.
  Revue des Revues
  Ann. Hyg. L fr., Med et Nutr., 1970, n° 6, 25-32

- GERARD A.
  Bicolore
  1975, n° 122, 15-19

. HAVERBERG L., KWON P.H., SCRIMSHAW N.S.
American Journal of Clinical Nutrition
1980, n° 33, 17-21

. KLOSTERMEYER H.
Molkerei - Zeitung Welt der Milch
1976, n° 30, 1448-1450

. MARVIN H., RORICK M.S., SCRIMSHAW N.
Journal of Gerontology
1979, n° 34, 191-196

. Mc CORMICK R.D.
Food Products Development
1976, n° 10, 17-18

. MENGOLI V.
Fracastoro
1968, n° 61, 317-347

. MOUILLET (L)
Le Lait
1977, tome 57, 37-52

. N...
American Dairy Review
1979, n° 16, 12-16

. PAIGE D.M., BAYLESS T.M., MELLITS E.D., DAVIS L., DELLINGER W.S. KREITNER R.M.
Journal of Agricultural and Food Chemistry
1979, n° 27, 677-680

. ROGER (L), THAPON (J.L.), MAUBOIS (J.L.), BRULE (G)
Le Lait
1976, tome 56, 56-73

. ROSENSWEIG N.S.
Gastroenterology
1971, n° 60, 464-467

. VEISSEYRE (CR)
Techniques Laitières modernes, 1 volume, 560 pages
La Maison Rustique, PARIS, 1957.